

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2000286451 A

(43) Date of publication of application: 13.10.00

(51) Int. Cl

H01L 33/00

H01L 29/205

H01S 5/343

(21) Application number: 2000060463

(22) Date of filing: 20.04.99

(30) Priority: 17.11.98 JP 10326281
29.01.99 JP 11023049

(62) Division of application: 11112909

(71) Applicant: NICHIA CHEM IND LTD

(72) Inventor: TANIZAWA KOJI
FUKUDA YOSHIKATSU
IKEGAMI TAKESHI

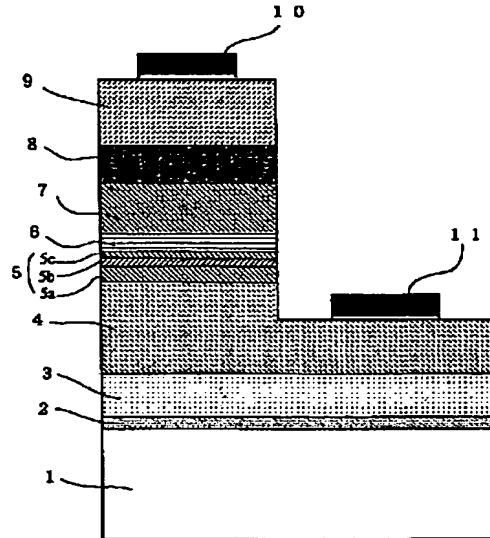
(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride semiconductor light emitting element of improved light emitting output and better electrostatic resistance, for expanded application range to various application products, using an active layer of a multiplex quantum well structure.

SOLUTION: Related to a nitride semiconductor device, comprising on a semiconductor substrate, a n-side nitride semiconductor layer, active layer, and p-side nitride semiconductor layer formed via a buffer layer 2, the n-side nitride semiconductor layer comprises an n-side first multilayered film layer, wherein at least three layers of a lower layer comprising an undoped nitride semiconductor 3 of film thickness of 100-10,000 Å, intermediate layer 5b comprising nitride semiconductor doped with n-type impurities, and upper layer comprising undoped nitride semiconductor 3, are sequentially laminated, with the active layer being of a multiplex quantum well structure comprising an In_aGaN (0≤a<1) layer and a GaN layer.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-286451

(P2000-286451A)

(43)公開日 平成12年10月13日 (2000. 10. 13)

(51) Int.Cl.⁷
H 01 L 33/00
29/205
H 01 S 5/343

識別記号

F I
H 01 L 33/00
29/205
H 01 S 5/343

テーマコード(参考)
C

審査請求 未請求 請求項の数 3 OL (全 13 頁)

(21)出願番号 特願2000-60463(P2000-60463)
(62)分割の表示 特願平11-112909の分割
(22)出願日 平成11年4月20日(1999.4.20)

(31)優先権主張番号 特願平10-326281
(32)優先日 平成10年11月17日(1998.11.17)
(33)優先権主張国 日本(JP)

(31)優先権主張番号 特願平11-23049
(32)優先日 平成11年1月29日(1999.1.29)
(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000226057
日亜化学工業株式会社
徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72)発明者 谷沢 公二
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化
学工業株式会社内

(72)発明者 福田 芳克
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化
学工業株式会社内

(72)発明者 池上 武志
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化
学工業株式会社内

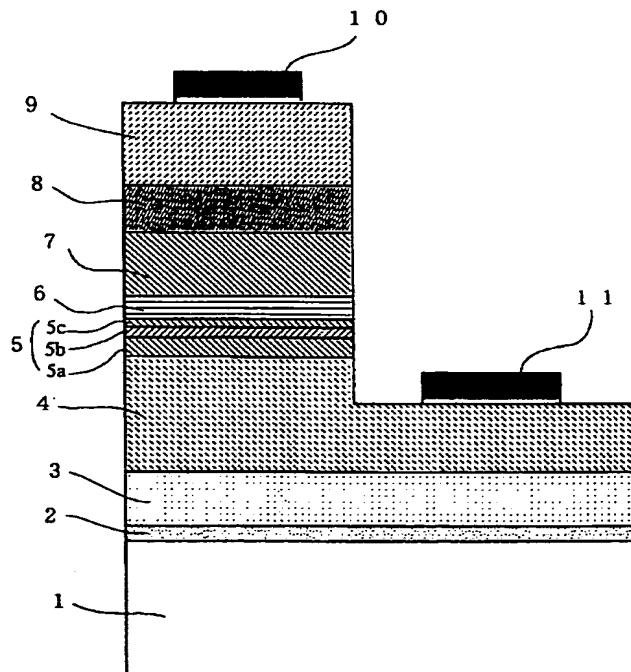
(74)代理人 100074354
弁理士 豊橋 康弘 (外1名)

(54)【発明の名称】 空化物半導体素子

(57)【要約】

【課題】 多重量子井戸構造の活性層を用い種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とするため、発光出力がより向上し、静電耐圧が良好な窒化物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 基板上に、バッファ層を介して形成されたn側窒化物半導層、活性層及びp側窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、n側窒化物半導体層は、膜厚100~1000Åのアンドープの窒化物半導体からなる下層、n型不純物がドープされた窒化物半導体からなる中間層、アンドープの窒化物半導体からなる上層の少なくとも3層が順に積層されてなるn側第1多層膜層を含みかつ、活性層がIn_aGa_{1-a}N (0≤a<1)層とGaN層とを含んでなる多重量子井戸構造である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に、バッファ層を介して形成されたn側窒化物半導体層、活性層及びp側窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、

前記n側窒化物半導体層は、膜厚100～10000Åのアンドープの窒化物半導体からなる下層、n型不純物がドープされた窒化物半導体からなる中間層、アンドープの窒化物半導体からなる上層の少なくとも3層が順に積層されてなるn側第1多層膜層を含みかつ、

前記活性層が、 $In_xGa_{1-x}N$ (0 < x < 1)層とGaN層とを含んでなる多重量子井戸構造であることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記中間層の膜厚が50～1000オングストロームであり、前記上層の膜厚が25～1000オングストロームであることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記n側窒化物半導体層において、前記n側第1多層膜層より基板側に、n型不純物を含むn側コンタクト層を有することを特徴とする請求項1又は2に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)、太陽電池、光センサー等の発光素子、受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに使用される窒化物半導体(例えば、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 、0 ≤ x、y ≤ 1)素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 窒化物半導体は高輝度青色LED、純緑色LEDの材料として、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。これらのLED素子は基本的に、サファイア基板上にGaNよりなるバッファ層と、SiドープGaNよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造(SQW:Single-Quantum-Well)のInGaN、あるいはInGaNを有する多重量子井戸構造(MQW:Multi-Quantum-Well)の活性層と、MgドープAlGaNよりなるp側クラッド層と、MgドープGaNよりなるp側コンタクト層とが順に積層された構造をしており、20mAにおいて、発光波長450nmの青色LEDで5mW、外部量子効率9.1%、520nmの緑色LEDで3mW、外部量子効率6.3%と非常に優れた特性を示す。多重量子井戸構造は、複数のミニバンドからなる構造を有し、効率よく、小さな電流でも発光が実現することから、単一量子井戸構造より発光出力が高くなる等の素子特性の向上が期待される。また例えば、多重量子井戸構造の活性層を用いたLED素子として、特開平10-135514号公報には、発光効率及び発光光度を良好とするため、少なくともアンドープの

GaNからなるバリア層、アンドープのInGaNからなる井戸層からなる多重量子井戸構造の発光層、更に発光層のバリア層よりも広いバンドギャップを持つクラッド層を有する窒化物半導体素子が開示されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記従来の素子をLED素子として、照明用光源、直射日光の当たる屋外ディスプレイ等に使用するためには発光出力が十分満足できるものでない。このように多重量子井戸構造の活性層は、発光出力の飛躍的な向上が考えられるが、その予想される可能性を十分に發揮させ難い。更にまた、窒化物半導体からなる素子は、その構造上、人体に生じる静電気より遙かに弱い100Vの電圧でさえも劣化する可能性がある。例えば、帯電防止処理された袋等から取り出す際、また製品に応用する際等、劣化する危険性が考えられる。窒化物半導体素子の信頼性をより高めるには、このような劣化の危険性をなくすことが望まれる。

【0004】 そこで、本発明の目的は、多重量子井戸構造の活性層を用い種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とするため、発光出力がより向上し、静電耐圧が良好な窒化物半導体発光素子を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】 即ち、本発明は、下記(1)～(3)の構成により本発明の目的を達成することができる。

(1) 基板上に、バッファ層を介して形成されたn側窒化物半導体層、活性層及びp側窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、前記n側窒化物半導体層は、膜厚100～10000Åのアンドープの窒化物半導体からなる下層、n型不純物がドープされた窒化物半導体からなる中間層、アンドープの窒化物半導体からなる上層の少なくとも3層が順に積層されてなるn側第1多層膜層を含みかつ、前記活性層が、 $In_xGa_{1-x}N$ (0 < x < 1)層とGaN層とを含んでなる多重量子井戸構造であることを特徴とする窒化物半導体素子。

(2) 前記中間層の膜厚が50～1000オングストロームであり、前記上層の膜厚が25～1000オングストロームであることを特徴とする前記(1)に記載の窒化物半導体素子。

(3) 前記n側窒化物半導体層において、前記n側第1多層膜層より基板側に、n型不純物を含むn側コンタクト層を有することを特徴とする前記(1)又は(2)に記載の窒化物半導体素子。また、本発明の目的は以下の(4)～(11)のような構成であっても達成することができる。

(4) 基板上に、n側窒化物半導体層、活性層及びp側窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、前記n側窒化物半導体層が、アンドープの窒化物半導体からなる下層(以下、アンドープの下層とする。)、n

型不純物がドープされている窒化物半導体からなる中間層（以下、不純物ドープの中間層とする。）、及びアンドープの窒化物半導体からなる上層（以下、アンドープの上層とする。）の少なくとも3層が順に積層されてなるn側第1多層膜層を含み、前記活性層が、 $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) を含んでなる多重量子井戸構造であり、更に、前記p側窒化物半導体層が、互いにバンドギャップエネルギーが異なり且つ互いにp型不純物濃度が異なる又は同一の第3と第4の窒化物半導体層とが積層されてなるp側多層膜クラッド層を含むことを特徴とする窒化物半導体素子。

(5) 基板上に、n側窒化物半導体層、活性層及びp側窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、前記n側窒化物半導体層が、アンドープの窒化物半導体からなる下層、n型不純物がドープされている窒化物半導体からなる中間層、及びアンドープの窒化物半導体からなる上層の少なくとも3層が順に積層されてなるn側第1多層膜層を含み、前記活性層が、 $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 1$) を含んでなる多重量子井戸構造であり、更に、前記p側窒化物半導体層が、p型不純物を含み $Al_bGa_{1-b}N$ ($0 \leq b \leq 1$) よりなるp側単一膜クラッド層を含むことを特徴とする窒化物半導体素子。

(6) 前記n側第1多層膜層が、膜厚100~1000オングストロームのアンドープの窒化物半導体からなる下層、膜厚50~1000オングストロームのn型不純物がドープされている窒化物半導体からなる中間層、及び膜厚25~1000オングストロームのアンドープの窒化物半導体からなる上層からなることを特徴とする前記(4)又は(5)に記載の窒化物半導体素子。

(7) 前記 n 側第 1 多層膜層と活性層との間に、In を含む第 1 の窒化物半導体層と、その第 1 の窒化物半導体層と異なる組成を有する第 2 の窒化物半導体層とが積層された n 側第 2 多層膜層を有することを特徴とする前記 (4) ~ (6) のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

(8) 前記 n 側窒化物半導体層に、前記 n 側第 1 多層膜層（変調ドープ層）より基板側に、n 型不純物を含む n 側コンタクト層を有することを特徴とする前記（4）～（7）のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

(9) 前記n側コンタクト層が、アンドープGaNの上に形成されてなることを特徴とする前記(4)～(8)のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

(10) 前記窒化物半導体素子において、前記アンドープGaN層が低温成長させたGadAl_{1-d}N ($0 < d \leq 1$) からなるバッファ層上に形成され、更に前記p側多層膜クラッド層又はp側単一膜クラッド層上にp型不純物としてMgを含むp側GaNコンタクト層を形成してなることを特徴とする前記(4)～(9)のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

(11) 前記アンドープGaN層、n側コンタクト

層、及び n 側第1多層膜層の合計の膜厚が、 $2 \sim 20 \mu$
 m であることを特徴とする前記(4)～(10)のいずれかに記載の窒化物半導体素子。

【0006】つまり、本発明は、多重量子井戸構造の活性層を挟むように、n側にアンドープの下層、n型不純物ドープの中間層、及びアンドープの上層の特定の層構成からなるn側第1多層膜層と、p側に第3及び第4の窒化物半導体層からなるp側多層膜クラッド層又はp型不純物を含み $A_{1-b}Ga_bN$ ($0 \leq b \leq 1$) よりなるp側単一膜クラッド層とを組み合わせて形成することにより、発光効率が向上し発光出力の良好な、しかも、静電耐圧の良好な窒化物半導体素子を得ることができる。このように特定の組成や層構造等を有する複数の窒化物半導体層を組み合わせることにより、多重量子井戸構造の活性層の性能を効率良く発揮することができるとともに、静電耐圧が良好となる。更に本発明は、n側第1多層膜層を構成する各層の膜厚を特定の範囲の組み合わせにすることにより、良好な発光出力と共に静電耐圧をより良好にすることができる。

20 【0007】本発明において、アンドープとは、意図的に不純物をドープしないで形成した層を示し、隣接する層からの不純物の拡散、原料又は装置からのコンタミネーションにより不純物が混入した層であっても、意図的に不純物をドープしていない場合にはアンドープ層とする。なお、拡散により混入する不純物は層内において不純物濃度に勾配がついている場合がある。

【0008】また、多重量子井戸構造の活性層との組み合わせにおいて、好ましいその他の窒化物半導体層を以下に記載する。本発明において、前記n側第1多層膜層と活性層との間に、Inを含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されたn側第2多層膜層を有すると更に発光効率が向上すると共に、順方向電圧(以下、Vfとする。)を低下させて発光効率を向上させることができ好ましい。更に、本発明において、前記n側第1多層膜層より基板側に、n型不純物を含むn側コンタクト層を有すると、発光出力を向上させ、Vfを低下させるのに好ましい。また更に、本発明において、前記n側コンタクト層が、アンドープGaN層の上に形

40 成されてなると、かかるアンドープGaN層は結晶性の良い層として得られるので、n電極を形成する層となるn側コンタクト層の結晶性が良くなり、n側コンタクト層上に形成される活性層などのその他の窒化物半導体層の結晶性も良くなり、発光出力を向上させるのに好ましい。また更に、本発明において、前記アンドープGaN層が、低温成長させたGadAl_{1-d}N ($0 < d \leq 1$) からなるバッファ層上に形成されていると、アンドープGaN層の結晶性が更に良好となり、n側コンタクト層等の結晶性もより良好となり、発光出力の向上において好ましく、更にまた、p側多層膜クラッド層又はp側単一

膜クラッド層上にMgドープp側GaNコンタクト層を形成してなると、p型特性を得やすくなると共に、かかるp側GaNコンタクト層がこの上に形成されるp電極と良好なオーム接觸を有し、発光出力を向上させるのに好ましい。また更に、本発明において、アンドープGaN層、n側コンタクト層、及びn側第1多層膜層の合計の膜厚が、2～20μm、好ましくは3～10μm、より好ましくは4～9μmであると、静電耐圧以外の他の素子特性も良好である。また、上記3層の合計の膜厚は、各層の好ましい膜厚の範囲内で、3層の合計の膜厚が上記範囲となるように適宜調整される。

【0009】

【発明の実施の形態】以下に本発明の一実施の形態である窒化物半導体素子の構造を示す窒化物半導体素子の模式的断面図である図1を用いて、本発明を詳細に説明する。図1は、基板1上に、バッファ層2、アンドープGaN層3、n型不純物を含むn側コンタクト層4、アンドープの下層5a、n型不純物ドープの中間層5b及びアンドープの上層5cの3層からなるn側第1多層膜5、第1及び第2の窒化物半導体層よりなるn側第2多層膜層6、多重量子井戸構造の活性層7、第3及び第4の窒化物半導体層からなるp側多層膜クラッド層8又はp側単一膜クラッド層8、Mgドープp側GaNコンタクト層9が順に積層された構造を有する。更にn側コンタクト層4上にn電極11、p側GaNコンタクト層9上にp電極10がそれぞれ形成されている。

【0010】本発明において、基板1としては、サファイアC面、R面又はA面を主面とするサファイア、その他、スピネル($MgAl_2O_4$)のような絶縁性の基板の他、SiC(6H、4H、3Cを含む)、Si、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0011】本発明において、バッファ層2としては、 $Ga_{d}Al_{1-d}N$ (但し d は $0 < d \leq 1$ の範囲である。)からなる窒化物半導体であり、好ましくはA1の割合が小さい組成ほど結晶性の改善が顕著となり、より好ましくはGaNからなるバッファ層2が挙げられる。バッファ層2の膜厚は、0.002～0.5μm、好ましくは0.005～0.2μm、更に好ましくは0.01～0.02μmの範囲に調整する。バッファ層2の膜厚が上記範囲であると、窒化物半導体の結晶モフォロジーが良好となり、バッファ層2上に成長させる窒化物半導体の結晶性が改善される。バッファ層2の成長温度は、200～900℃であり、好ましくは400～800℃の範囲に調整する。成長温度が上記範囲であると良好な多結晶となり、この多結晶が種結晶としてバッファ層2上に成長させる窒化物半導体の結晶性を良好にでき好ましい。また、このような低温で成長させるバッファ層2は、基板の種類、成長方法等によっては省略してもよい。

【0012】次に、本発明において、アンドープGaN層3は、成長する際にn型不純物を添加せずに成長してなる層を示す。バッファ層2上にアンドープGaN層3を成長させるとアンドープGaN層3の結晶性が良好となり、アンドープGaN層3上に成長させるn側コンタクト層4などの結晶性も良好となる。アンドープGaN層3の膜厚としては、0.01μm以上であり、好ましくは0.5μm以上であり、より好ましくは1μm以上である。またアンドープGaN層3の膜厚の上限は特に限定されないが、製造効率等を考慮して適宜調整される。膜厚がこの範囲であると、n側コンタクト層4以降の層を結晶性良く成長でき好ましい。更に、アンドープGaN層3の膜厚が上記範囲であると、n側コンタクト層4とn側第1多層膜層5との合計の膜厚を、前記範囲に調整し静電耐圧を向上させる点で好ましい。

【0013】次に、本発明において、n型不純物を含むn側コンタクト層4は、n型不純物を $3 \times 10^{18}/cm^3$ 以上、好ましくは $5 \times 10^{18}/cm^3$ 以上の濃度で含有する。このようにn型不純物を多くドープし、この層をn側コンタクト層とすると、Vf及び閾値を低下させることができる。不純物濃度が上記範囲を逸脱するとVfが低下しにくくなる傾向がある。また、n側コンタクト層4は、n型不純物濃度が小さい結晶性の良好なアンドープGaN層3上に形成されると、高濃度のn型不純物を有しているにも関わらず結晶性を良好に形成することができる。n側コンタクト層4のn型不純物濃度の上限は特に限定しないが、コンタクト層としての機能を保持しうる限界としては $5 \times 10^{21}/cm^3$ 以下が望ましい。

【0014】n側コンタクト層4の組成は、 $I_{ne}A_{1-f}Ga_{1-e-f}N$ ($0 \leq e, 0 \leq f, e+f \leq 1$)で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGaN、f値0.2以下のA1fGa1-fNとすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。n側コンタクト層4の膜厚は特に問うものではないが、n電極を形成する層であるので0.1～20μm、好ましくは0.5～10μm、より好ましくは1～5μmである。膜厚が上記範囲であると抵抗値を低くでき、発光素子のVfを低くでき好ましい。更に、n側コンタクト層4の膜厚が上記範囲であると、アンドープGaN層3及びn側第1多層膜層5との組み合わせにより、静電耐圧を向上させる点で好ましい。また、n側コンタクト層4は、後述のn側第1多層膜層5を厚膜に形成する場合、省略することができる。

【0015】次に、本発明において、n側第1多層膜層5は、基板側から、アンドープの下層5a、n型不純物ドープの中間層5b、アンドープの上層5cの少なくとも3層から構成されている。n側第1多層膜層には上記下層5a～上層5c以外のその他の層を有していてよい。またn側第1多層膜層5は、活性層と接していて

も、活性層の間に他の層を有していてもよい。これら下層5a～上層5cを構成する窒化物半導体としては、 $In_gAl_hGa_{1-g-h}N$ ($0 \leq g < 1$ 、 $0 \leq h < 1$) で表される種々の組成の窒化物半導体を用いることができ、好ましくはGaNからなる組成のものが挙げられる。また第1多層膜層5の各層は組成が同一でも異なっていてもよい。

【0016】n側第1多層膜層5の膜厚は、特に限定されないが、175～12000オングストロームであり、好ましくは1000～10000オングストロームであり、より好ましくは2000～6000オングストロームである。第1多層膜層5の膜厚が上記範囲であると V_f の最適化と静電耐圧の向上の点で好ましい。更に、n側第1多層膜層5の膜厚が上記範囲であると、アンドープGaN層とn側コンタクト層4との組み合わせにより、静電耐圧を向上させる点で好ましい。上記範囲の膜厚を有する第1多層膜層5の膜厚の調整は、下層5a、中間層5b、及び上層5cの各膜厚を適宜調整して、第1多層膜層5の総膜厚を上記の範囲とすることが好ましい。

【0017】n側第1多層膜層5を構成する下層5a、中間層5b及び上層5cの各膜厚は、特に限定されないが、n側第1多層膜層5中で積層される位置により素子性能の諸特性に与える影響が異なるため、各層の素子性能に大きく関与する特性に特に注目し、いずれか2層の膜厚を固定し、残りの1層の膜厚を段階的に変化させて、特性の良好な範囲の膜厚を測定し、更に各層との調整により膜厚の範囲を特定している。n側第1多層膜層5の各層は、各々静電耐圧に直接影響を及ぼさない場合もあるが、各層を組み合わせてn側第1多層膜層5とすることにより、全体として種々の素子特性が良好であると共に、特に発光出力及び静電耐圧が著しく良好となる。このような効果は、実際に、各層を積層させてなる素子を製造して初めて得られる予想外の効果といえる。各層の膜厚について以下に具体的に示すと共に、図2～図4を用いて、膜厚の変化による素子特性の変化について示す。但し比較の従来品としては、後述の実施例1に示されている従来例である。また、図中のPoは発光出力を示す。また各図の横軸に示される膜厚はゼロを含まない範囲で変動させている。

【0018】アンドープの下層5aの膜厚は、100～10000オングストローム、好ましくは500～8000オングストローム、より好ましくは1000～5000オングストロームである。アンドープの下層5aは、図2(a)及び(b)に示すように、膜厚を徐々に厚くしていくと静電耐圧が上昇していくが、10000オングストローム付近で V_f が急上昇し、一方膜厚を薄くしていくと、 V_f は低下していくが、静電耐圧の低下が大きくなり、100オングストローム未満では静電耐圧の低下に伴い歩留まりの低下が大きくなる傾向が見ら

れる。また、上層5aは、n型不純物を含むn側コンタクト層4の結晶性の低下の影響を改善していると考えられるので、結晶性の改善が良好となる程度の膜厚で成長されるのが好ましい。

【0019】n型不純物ドープの中間層5bの膜厚は、50～1000オングストローム、好ましくは100～500オングストローム、より好ましくは150～400オングストロームである。この不純物がドープされた中間層5bは、キャリア濃度を十分とさせて発光出力に比較的大く作用する層であり、この層を形成させないと著しく発光出力が低下する傾向がある。なお、図3

(a)では、膜厚を25オングストローム程度まで薄くしても発光出力の低下がやや下降する程度となっているのは、中間層5bの膜厚が50オングストロームでも発光出力が低下しないように考慮してその他の層の膜厚等を調整して行ったからである。また、図3(a)に示されるように、膜厚が1000オングストロームを超えると発光出力が商品となりにくい程度まで大きく低下する傾向がある。一方、静電耐厚のみを見ると、図3(b)20に示されるように、中間層5bの膜厚が厚いと静電耐圧は良好であるが、膜厚が50オングストローム未満では静電耐圧の低下が大きくなる傾向があり、商品として十分満足できない。

【0020】アンドープの上層5cの膜厚は、25～1000オングストローム、好ましくは25～500オングストローム、より好ましくは25～150オングストロームである。このアンドープの上層5cは、第1多層膜の中で活性層に接してあるいは最も接近して形成され、リーク電流の防止に大きく関与しているが、上層5cの膜厚が25オングストローム未満ではリーク電流が増加する傾向がある。また、図4(a)及び(b)に示されるように、上層5cの膜厚が1000オングストロームを超えると V_f が上昇し静電耐圧も低下する傾向があり、商品として十分満足することができない。

【0021】以上のように、下層5a～上層5cの各膜厚は、上記に示したように、各層の膜厚の変動により影響されやすい素子特性に注目し、更に、下層5a、中間層5b及び上層5cを組み合わせた際に、諸素子特性すべてがほぼ均一に良好となり、特に発光出力及び静電耐圧が良好となるように、更に社内規格を満足できるように種々検討し、上記範囲に各膜厚を規定することにより、良好な発光出力及び商品の信頼性の更なる向上を達成することが可能な静電耐圧を得ることができる。また、第1多層膜層5の各層の膜厚の組み合わせは、発光波長の種類による活性層の組成の変化や、電極、LED素子の形状など種々の条件により、最も良好な効果を得るために適宜調整される。各層の膜厚の組み合わせに伴う性能は、上記範囲の膜厚で適宜組み合わせることにより、従来のものに比べ良好な発光出力及び良好な静電耐圧を得ることができる。

【0022】上記第1多層膜層を構成する各層の組成は、 $In_gAl_hGa_{1-g-h}N$ ($0 \leq g < 1$ 、 $0 \leq h < 1$) で表される組成であればよく、各層の組成が同一でも異なっていてもよく、好ましくは In 及び Al の割合が小さい組成であり、より好ましくは GaN からなる層が好ましい。

【0023】上記第1多層膜層5のn型不純物ドープの中間層5bのn型不純物のドープ量は、特に限定されないが、 $3 \times 10^{18}/cm^3$ 以上、好ましくは $5 \times 10^{18}/cm^3$ 以上の濃度で含有する。n型不純物の上限としては、特に限定されないが、結晶性が悪くなりすぎない程度の限界としては $5 \times 10^{21}/cm^3$ 以下が望ましい。第1の多層膜層の中間層の不純物濃度が上記範囲であると、発光出力の向上と V_f の低下の点で好ましい。n型不純物としては Si 、 Ge 、 Se 、 S 、 O 等の周期律表第IVB族、第VIB族元素を選択し、好ましくは Si 、 Ge 、 S をn型不純物とする。

【0024】また、上記第1多層膜層5の界面においては、それぞれの層及び素子の機能を害しない範囲で両方の層を兼ねる。

【0025】次に、本発明において、n側第2多層膜層6は、 In を含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されたn側多層膜層からなる。この第1の窒化物半導体層、または第2の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚が、好ましくは両方の膜厚が、100オングストローム以下、より好ましくは70オングストローム以下、更に好ましくは50オングストローム以下にする。このように膜厚を薄くすることにより、多層膜層が超格子構造となって、多層膜層の結晶性が良くなるので、出力が向上する傾向にある。

【0026】第1又は第2の窒化物半導体の少なくとも一方の膜厚が、100オングストローム以下であっても、薄膜層が弹性臨界膜厚以下となって結晶が良くなり、その上に積層する第1の窒化物半導体層、若しくは第2の窒化物半導体層の結晶性が良くなり、多層膜層全体の結晶性が良くなるため、素子の出力が向上する。

【0027】また、第1及び第2の窒化物半導体の膜厚が、共に100オングストローム以下であると、窒化物半導体単一層の弹性臨界膜厚以下となり、厚膜で成長させる場合や、第1又は第2の窒化物半導体の一方が100オングストローム以下の場合に比較して結晶性の良い窒化物半導体が成長できる。また、両方を70オングストローム以下にすると、n側第2多層膜層6が超格子構造となり、この結晶性の良い多層膜構造の上に活性層を成長させると、n側第2多層膜層6がバッファ層のような作用をして、活性層がより結晶性よく成長できる。

【0028】本発明において、n側窒化物半導体層に、前記n側第1多層膜層と上記n側第2多層膜層とを組み合わせると、発光出力が向上し、 V_f が低下し好まし

い。この理由は定かではないが、n側第2多層膜層上に成長させる活性層の結晶性が良好となるためと考えられる。

【0029】また、n側第2多層膜層6の前記第1の窒化物半導体層または前記第2の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚は、近接する第1の窒化物半導体層または第2の窒化物半導体層同士で互いに異なっても、同一でもよい。好ましくは、第1の窒化物半導体層または第2の窒化物半導体層の内の少なくとも一方の膜厚が、近接する第1の窒化物半導体層、または第2の窒化物半導体層同士で互いに異なっていることが好ましい。膜厚が近接する層同士で互いに異なるとは、第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層を複数層積層した多層膜層を形成した場合に、第2の窒化物半導体層（第1の窒化物半導体層）の膜厚とそれを挟んだ第1の窒化物半導体層（第2の窒化物半導体層）の膜厚とが互いに異なることを意味する。例えば、第1の窒化物半導体層を $InGaN$ とし、第2の窒化物半導体層を GaN とした場合、 GaN 層と GaN 層との間の $InGaN$ 層の膜厚を、活性層に接近するに従って次第に厚くしたり、また薄くしたりすることにより、多層膜層内部において屈折率が変化するため、実質的に屈折率が次第に変化する層を形成することができる。即ち、実質的に組成傾斜した窒化物半導体層を形成するのと同じ効果が得られる。このため例えばレーザ素子のような光導波路を必要とする素子においては、この多層膜層で導波路を形成して、レーザ光のモードを調整できる。

【0030】また、第1、または第2の窒化物半導体層の内の少なくとも一方のIII族元素の組成を、近接する第1または第2の窒化物半導体層の同一III族元素の組成同士で互いに異なる、又は同一でもよい。好ましくは、第1の窒化物半導体層、または第2の窒化物半導体層の内の少なくとも一方のIII族元素の組成が、近接する第1の窒化物半導体層または第2の窒化物半導体層の同一III族元素の組成同士で互いに異なる。この互いに異なるとは、第1の窒化物半導体層または第2の窒化物半導体層を複数層積層した多層膜層を形成した場合に、第2の窒化物半導体層（第1の窒化物半導体層）のIII族元素の組成比とそれを挟んだ第1の窒化物半導体層（第2の窒化物半導体層）のIII族元素の組成比とが互いに異なることを意味する。

【0031】例えば、同一III族元素の組成同士で互いに異ならせると、第1の窒化物半導体層を $InGaN$ とし、第2の窒化物半導体層を GaN とした場合、 GaN 層と GaN 層との間の $InGaN$ 層の In 組成を活性層に接近するに従って次第に多くしたり、また少なくしたりすることにより、多層膜層内部において屈折率を変化させて、実質的に組成傾斜した窒化物半導体層を形成することができる。なお In 組成が減少するに従い、屈折率は小さくなる傾向にある。

【0032】上記のn側第2多層膜層6は、例えば、図1に示すように、活性層7を挟んで下部にあるn側窒化物半導体層に、Inを含む第1の窒化物半導体層と、その第1の窒化物半導体層と異なる組成を有する第2の窒化物半導体層とが積層されたn側第2多層膜層6を有している。n側第2多層膜層6において、第1の窒化物半導体層、第2の窒化物半導体層はそれぞれ少なくとも一層以上形成し、合計で2層以上、好ましくは3層以上、さらに好ましくはそれぞれ少なくとも2層以上積層し合計で4層以上積層することが望ましい。

【0033】n側第2多層膜層6は、活性層と離間して形成されていても良いが、最も好ましくは活性層に接して形成されているようにする。活性層に接して形成する方がより出力が向上しやすい傾向にある。n側第2多層膜層6が活性層に接して形成されている場合、活性層の最初の層（井戸層、若しくは障壁層）と接する多層膜層は第1の窒化物半導体層でも、第2の窒化物半導体層いずれでも良く、n側第2多層膜層6の積層順序は特に問うものではない。なお、図1ではn側第2多層膜層6が、活性層7に接して形成されているが、このn側第2多層膜層6と活性層との間に、他のn型窒化物半導体よりなる層を有していても良い。

【0034】第1の窒化物半導体層はInを含む窒化物半導体、好ましくは3元混晶の $In_kGa_{1-k}N$ ($0 < k < 1$) とし、さらに好ましくはk値が0.5以下の $In_kGa_{1-k}N$ 、最も好ましくはk値が0.2以下の $In_kGa_{1-k}N$ とする。一方、第2の窒化物半導体層は第1の窒化物半導体層と組成が異なる窒化物半導体であれば良く、特に限定しないが、結晶性の良い第2の窒化物半導体を成長させるためには、第1の窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーが大きい2元混晶あるいは3元混晶の $In_mGa_{1-m}N$ ($0 \leq m < 1$ 、 $m < k$) を成長させ、好ましくは GaN である。第2の窒化物半導体を GaN とすると、全体に結晶性の良い多層膜層が成長できる。好ましい組み合わせとしては、第1の窒化物半導体を $In_kGa_{1-k}N$ ($0 < k < 1$) とし、第2の窒化物半導体を $In_mGa_{1-m}N$ ($0 \leq m < 1$ 、 $m < k$) 、好ましくは GaN とする組み合わせが挙げられる。更に好ましい組み合わせとしては、第1の窒化物半導体層のk値が0.5以下の $In_kGa_{1-k}N$ であり、第2の窒化物半導体層が GaN との組み合わせである。

【0035】第1および第2の窒化物半導体層は両方ともアンドープでも、両方にn型不純物がドープされても、またいすれか一方に不純物がドープ（変調ドープ）されていてもよい。結晶性を良くするためにには、両方がアンドープであることが最も好ましく、次に変調ドープ、その次に両方ドープの順である。なお両方にn型不純物をドープする場合、第1の窒化物半導体層のn型不純物濃度と、第2の窒化物半導体層のn型不純物濃度は異なっていても良い。また、第1の窒化物半導体層ま

たは第2の窒化物半導体層のいすれか一方に、n型不純物がドープされていることを変調ドープと呼ぶが、このような変調ドープをすることにより、出力が向上しやすい傾向を有する。

【0036】なおn型不純物としては、Si、Ge、Sn、S等のIV族、VI族元素を好ましく選択し、さらに好ましくはSi、Snを用いる。n型不純物をドープする場合、不純物濃度は $5 \times 10^{21}/cm^3$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{20}/cm^3$ 以下に調整する。 $5 \times 10^{21}/cm^3$ よりも多いと窒化物半導体層の結晶性が悪くなつて、逆に出力が低下する傾向にある。これは変調ドープの場合も同様である。

【0037】本発明において、多重量子井戸構造の活性層7は、In及びGaを含有する窒化物半導体、好ましくは、 $In_aGa_{1-a}N$ ($0 \leq a < 1$) で形成され、n型、p型いずれでもよいが、アンドープ（不純物無添加）とすることにより強いバンド間発光が得られ発光波長の半値幅が狭くなり好ましい。活性層7にn型不純物及び／又はp型不純物をドープしてもよい。活性層7にn型不純物をドープするとアンドープのものに比べてバンド間発光強度をさらに強くすることができる。活性層7にp型不純物をドープするとバンド間発光のピーク波長よりも約0.5eV低いエネルギー側にピーク波長をシフトさせることができると、半値幅は広くなる。活性層にp型不純物とn型不純物との双方をドープすると、前述したp型不純物のみドープした活性層の発光強度をさらに大きくすることができる。特にp型ドーパントをドープした活性層を形成する場合、活性層の導電型はSi等のn型ドーパントをもドープして全体をn型とすることが好ましい。結晶性のよい活性層を成長させるには、ノンドープが最も好ましい。

【0038】活性層7の障壁層と井戸層との積層順は、特に問わず、井戸層から積層して井戸層で終わる、井戸層から積層して障壁層で終わる、障壁層から積層して障壁層で終わる、また障壁層から積層して井戸層で終わっても良い。井戸層の膜厚としては100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、さらに好ましくは50オングストローム以下に調整する。井戸層の膜厚の上限は、特に限定されないが、1原子層以上、好ましくは10オングストローム以上である。井戸層が100オングストロームよりも厚いと、出力が向上しにくい傾向にある。一方、障壁層の厚さは2000オングストローム以下、好ましくは500オングストローム以下、より好ましくは300オングストローム以下に調整する。障壁層の膜厚の上限は特に限定されないが、1原子層以上、好ましくは10オングストローム以上である。障壁層が上記範囲であると出力が向上し易く好ましい。また、活性層7全体の膜厚はとくに限定されず、LED素子などの希望の波長等を考慮して、障壁層及び井戸層の各積層数や積層順を調整し活性層7の総膜厚を

調整する。

【0039】本発明において、p側クラッド層8は、バンドギャップエネルギーの大きな第3の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層よりもバンドギャップエネルギーの小さな第4の窒化物半導体層とが積層されて、互いのp型不純物濃度が異なる、又は同一の多層膜層、またはp型不純物を含有する $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) からなる単一層である。まず、p側クラッド層8が多層膜構造(超格子構造)を有するp側多層膜クラッド層の場合について以下に説明する。p側多層膜クラッド層17の多層膜層を構成する第3、第4の窒化物半導体層の膜厚は、100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは10~40オングストロームの膜厚に調整され、第3窒化物半導体層と第4の窒化物半導体層との膜厚は、同一でも異なっていてもよい。多層膜構造の各膜厚が上記範囲であると、窒化物半導体の弾性臨界膜厚以下となり、厚膜で成長させる場合に比較して結晶性の良い窒化物半導体が成長でき、また窒化物半導体層の結晶性が良くなるので、p型不純物を添加した場合にキャリア濃度が大きく抵抗率の小さいp層が得られ、素子の V_f 、しきい値が低下し易い傾向にある。このような膜厚の2種類の層を1ペアとして複数回積層して多層膜層を形成する。そして、p側多層膜クラッド層8の総膜厚の調整は、この第3及び第4の窒化物半導体層の各膜厚を調整し積層回数を調整することにより行う。p側多層膜クラッド層8の総膜厚は、特に限定されないが、2000オングストローム以下、好ましくは1000オングストローム以下、より好ましくは500オングストローム以下であり、総膜厚がこの範囲であると発光出力が高く、 V_f が低下し好ましい。第3の窒化物半導体層は少なくともA1を含む窒化物半導体、好ましくは $\text{Al}_n\text{Ga}_{1-n}\text{N}$ ($0 < n \leq 1$) を成長させることができが望ましく、第4の窒化物半導体は好ましくは $\text{Al}_p\text{Ga}_{1-p}\text{N}$ ($0 \leq p < 1$ 、 $n > p$)、 $\text{In}_r\text{Ga}_{1-r}\text{N}$ ($0 \leq r \leq 1$) のような2元混晶、3元混晶の窒化物半導体を成長させることができが望ましい。p側クラッド層8を超格子構造とすると、結晶性が良くなり、抵抗率が低下し V_f が低下する傾向がある。

【0040】p側多層膜クラッド層のp型不純物濃度において、第3の窒化物半導体層と第4の窒化物半導体層とのp型不純物濃度が異なる場合について以下に示す。p側多層膜クラッド層8の第3の窒化物半導体層と第4の窒化物半導体層とのp型不純物濃度は異なり、一方の層の不純物濃度を大きく、もう一方の層の不純物濃度を小さくする。 n 側クラッド層12と同様に、バンドギャップエネルギーの大きな第3の窒化物半導体層の方のp型不純物濃度を大きくして、バンドギャップエネルギーの小さな第4の窒化物半導体層のp型不純物濃度を小さく、好ましくはアンドープとすると、閾値電圧、 V_f 等を低下させることができる。またその逆でも良い。つま

りバンドギャップエネルギーの大きな第3の窒化物半導体層のp型不純物濃度を小さくして、バンドギャップエネルギーの小さな第4の窒化物半導体層のp型不純物濃度を大きくしても良い。

【0041】第3の窒化物半導体層への好ましいドープ量としては $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 、さらには好ましくは $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の範囲に調整する。 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ よりも少ないと、同様に第4の窒化物半導体層との差が少なくなって、同様にキャリア濃度の大きい層が得られにくい傾向にあり、また $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ よりも多いと、結晶性が悪くなる傾向にある。一方、第4の窒化物半導体層のp型不純物濃度は第3の窒化物半導体層よりも少なければ良く、好ましくは $1/10$ 以上少ない方が望ましい。最も好ましくはアンドープとすると最も移動度の高い層が得られるが、膜厚が薄いため、第3の窒化物半導体側から拡散していくp型不純物があり、その量は $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以下が望ましい。また、バンドギャップエネルギーが大きい第3の窒化物半導体層にp型不純物を少なくドープして、バンドギャップエネルギーが小さい第4の窒化物半導体層にp型不純物を多くドープする場合も同様である。p型不純物としてはMg、Zn、Ca、Be等の周期律表第IIA族、IIB族元素を選択し、好ましくはMg、Ca等をp型不純物とする。

【0042】さらにまた多層膜を構成する窒化物半導体層において、不純物が高濃度にドープされる層は、厚さ方向に対し、半導体層中心部近傍の不純物濃度が大きく、両端部近傍の不純物濃度が小さい(好ましくはアンドープ)とすることが、抵抗率を低下させるのに望ましい。

【0043】またp側多層膜クラッド層の第3の窒化物半導体層と第4の窒化物半導体層のp型不純物濃度が同一の場合は、上記第3と第4の窒化物半導体層のp型不純物濃度が異なる場合の第3の窒化物半導体層のp型不純物濃度の範囲内で不純物濃度が調整される。このようにp型不純物濃度が同一であると、上記不純物濃度が異なる場合に比べて、やや結晶性の劣る傾向があるが、キャリア濃度の高いp型クラッド層8を形成し易くなり、出力向上の点で好ましい。

【0044】次に、p側クラッド層8が、p型不純物を含み $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) よりなる単一層からなる場合、p側単一膜クラッド層8の膜厚は、2000オングストローム以下、好ましくは1000オングストローム以下であり、より好ましくは500~100オングストローム以下である。膜厚が上記範囲であると、発光出力が向上し、 V_f が低下し好ましい。p側単一膜クラッド層8の組成は、 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 \leq b \leq 1$) である。また、単一膜層のクラッド層は、前記多層膜構造のp側クラッド層に比べ、結晶性はやや劣るもの、前記第1の多層膜層4との組み合わせにより、結晶性良く

成長させることができ、しきい値や V_f の低下が可能となる。更に、このように単一膜としてもその他の層構成と組み合わせることにより素子の性能の低下を少なくし、しかも単一膜であるので、製造工程の簡易化が可能となり、量産する場合に好ましい。 p 側単一膜クラッド層8の p 型不純物の濃度は $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 、より好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ である。不純物濃度が上記範囲であると、良好な p 型膜ができ好ましい。

【0045】次に、本発明において、 Mg ドープ p 側 GaN コンタクト層9は、その組成を In 、 Al を含まない二元混晶の窒化物半導体とする。仮に In 、 Al を含有していると、 p 電極10とオーミック接触が得られなくなり、発光効率が低下する。 p 側コンタクト層9の膜厚は $0.001 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 、好ましくは $0.01 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 、より好ましくは $0.05 \sim 0.2 \mu\text{m}$ である。膜厚が $0.001 \mu\text{m}$ よりも薄いと p 型 $GaAlN$ クラッド層と電気的に短絡しやすくなり、コンタクト層として作用しにくい。また、三元混晶の $GaAlN$ クラッド層の上に、組成の異なる二元混晶の GaN コンタクト層を積層するため、逆にその膜厚を $0.5 \mu\text{m}$ よりも厚くすると、結晶間のミスフィットによる格子欠陥が p 側 GaN コンタクト層9中に発生しやすく、結晶性が低下する傾向にある。なお、コンタクト層の膜厚は薄いほど V_f を低下させ発光効率を向上させることができる。また、この p 型 GaN コンタクト層9の p 型不純物は Mg であると p 型特性が得られ易く、またオーミック接触が得られ易くなる。 Mg の濃度は、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{19} \sim 3 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 、より好ましくは $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 程度である。 Mg 濃度がこの範囲であると良好な p 型膜が得られ易く、 V_f が低下し好ましい。

【0046】また、 n 電極11は n 側コンタクト層4上に、 p 電極は Mg ドープ p 側 GaN コンタクト層9上にそれぞれ形成されている。 n 電極及び p 電極の材料としては特に限定されず、例えば n 電極としては W/AI 、 p 電極としては Ni/Au などを用いることができる。

【0047】

【実施例】以下に本発明の一実施の形態である実施例を示すが、本発明はこれに限定されない。

【実施例1】図1を元に実施例1について説明する。サファイア(C面)よりなる基板1をMOVPEの反応容器内にセットし、水素を流しながら、基板の温度を 100°C まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。

【0048】(バッファ層2) 続いて、温度を 510°C まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、基板1上に GaN よりなるバッファ層2を約 150 オングストロームの膜厚で成長させる。

【0049】(アンドープ GaN 層3) バッファ層2成

(9)

特開2000-286451

16

長後、TMGのみ止めて、温度を 1050°C まで上昇させる。 1050°C になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープ GaN 層3を $1.5 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0050】(n側コンタクト層4) 続いて 1050°C で、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、 Si を $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした GaN よりなるn側コンタクト層4を $2.25 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。

【0051】(n側第1多層膜層5) 次にシランガスのみを止め、 1050°C で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープ GaN からなる下層5aを 2000 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加し Si を $4.5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした GaN からなる中間層5bを 300 オングストロームの膜厚で成長させ、更に続いてシランガスのみを止め、同温度にてアンドープ GaN からなる上層5cを 50 オングストロームの膜厚で成長させ、3層からなる総膜厚 2350 オングストロームの第1多層膜層5を成長させる。

【0052】(n側第2多層膜層6) 次に、同様の温度で、アンドープ GaN よりなる第2の窒化物半導体層を 40 オングストローム成長させ、次に温度を 800°C にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープ $In_{0.13}Ga_{0.87}N$ よりなる第1の窒化物半導体層を 20 オングストローム成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第2+第1の順で交互に 10 層づつ積層させ、最後に GaN よりなる第2の窒化物半導体層を 40 オングストローム成長した超格子構造の多層膜よりなるn側第2多層膜層6を 640 オングストロームの膜厚で成長させる。

【0053】(活性層7) 次に、アンドープ GaN よりなる障壁層を 200 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を 800°C にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープ $In_{0.4}Ga_{0.6}N$ よりなる井戸層を 30 オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸+…+障壁の順で障壁層を 5 層、井戸層を 4 層、交互に積層して、総膜厚 1120 オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。

【0054】(p側多層膜クラッド層8) 次に、温度 1050°C でTMG、TMA、アンモニア、 Cp_2Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、 Mg を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした p 型 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ よりなる第3の窒化物半導体層を 40 オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を 800°C にして、TMG、TMI、アンモニア、 Cp_2Mg を用い Mg を $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープした $In_{0.03}Ga_{0.97}N$ よりなる第4の窒化物半導体層を 25 オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの操作を繰り返し、第3+第4の順

で交互に5層ずつ積層し、最後に第3の窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させた超格子構造の多層膜よりなるp側多層膜クラッド層8を365オングストロームの膜厚で成長させる。

【0055】(p側GaNコンタクト層9)続いて1050℃で、TMG、アンモニア、CpzMgを用い、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層9を700オングストロームの膜厚で成長させる。

【0056】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0057】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層9の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE(反応性イオンエッティング)装置でp側コンタクト層側からエッティングを行い、図1に示すようにn側コンタクト層4の表面を露出させる。

【0058】エッティング後、最上層にあるp側コンタクト層のほぼ全面に膜厚200オングストロームのNiとAuを含む透光性のp電極10と、そのp電極10の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極11を0.5μmの膜厚で形成する。一方、エッティングにより露出させたn側コンタクト層4の表面にはWとAlを含むn電極12を形成してLED素子とした。

【0059】このLED素子は順方向電流20mAにおいて、520nmの純緑色発光を示し、Vfは3.5Vで、従来の多重量子井戸構造のLED素子に比較して、Vfで1.0V近く低下し、出力は2.0倍以上に向上した。そのため、10mAで従来のLED素子とほぼ同等の特性を有するLEDが得られた。更に、得られたLEDの静電耐圧をLED素子のn層及びp層の各電極より逆方向に徐々に電圧を加え測定したところ、従来の1.5倍以上となり良好な結果が得られた。

【0060】なお、従来のLED素子の構成は、GaNよりなる第1のバッファ層の上に、アンドープGaNよりなる第2のバッファ層、SiドープGaNよりなるn側コンタクト層、実施例1と同一の多重量子井戸構造よりなる活性層、単一のMgドープAl_{0.1}Ga_{0.9}N層、MgドープGaNからなるp側コンタクト層を順に積層したものである。

【0061】[実施例2]実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

(活性層7)次に、アンドープGaNよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を7層、井戸層を6層、交互に積層して、総膜厚1930オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。得られたLED素子は、順方向電流20mAにおいて、470nmの純青色発光を示し、実施例1と同様に良好な結果が得られる。

【0062】[実施例3]実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

(活性層7)次に、アンドープGaNよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を6層、井戸層を5層、交互に積層して、総膜厚1650オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。得られたLED素子は、順方向電流20mAにおいて、470nmの純青色発光を示し、実施例1と同様に良好な結果が得られる。

【0063】[実施例4]実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

(活性層7)次に、アンドープGaNよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.35}Ga_{0.65}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を7層、井戸層を6層、交互に積層して、総膜厚1930オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。得られたLED素子は、順方向電流20mAにおいて、500nmの青緑色発光を示し、実施例1と同様に良好な結果が得られる。

【0064】[実施例5]実施例1において、活性層7を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

(活性層7)次に、アンドープGaNよりなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させ、続いて温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用いアンドープIn_{0.35}Ga_{0.65}Nよりなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。そして障壁+井戸+障壁+井戸・・・+障壁の順で障壁層を4層、井戸層を3層、交互に積層して、総膜厚1090オングストロームの多重量子井戸構造よりなる活性層7を成長させる。得られたLED素子は、順方向電流20mAにおいて、500nmの青緑色発光を示し、実施例1と同様に良好な結果が得られる。

【0065】[実施例6]実施例1において、n側第2多層膜層6を成長させない他は同様にしてLED素子を

作製した。得られたLED素子は、実施例1に比べやや素子特性及び発光出力が低いものの、静電耐圧は実施例1とほぼ同様に良好となる。

【0066】[実施例7] 実施例1において、p側多層膜クラッド層8を以下のように変える他は同様にしてLED素子を作製した。

(p側単一膜クラッド層8) 温度1050℃でTMG、TMA、アンモニア、 $C_{p2}Mg$ (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い、Mgを $1 \times 10^{20}/cm^3$ ドープしたp型A $10.16Ga_{0.84}N$ よりなるp側単一膜クラッド層8を300オングストロームの膜厚で成長させる。得られたLED素子は、クラッド層を超格子とせず单一の層として成長させているが、その他の層構成との組み合わせにより、実施例1よりやや発光出力などの性能が劣るものの、静電耐圧がほぼ同様に良好な結果が得られる。また、単一層とすると、多層膜層にする場合に比べ製造工程が簡易化でき好ましい。

【0067】[実施例8] 実施例1において、n側第1多層膜層5を以下のように各膜厚を変更する他は同様にしてLED素子を作製した。

(n側第1多層膜層5) 次にシランガスのみを止め、1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaNからなる下層5aを3000オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同温度にてシランガスを追加しSiを $4.5 \times 10^{18}/cm^3$ ドープしたGaNからなる中間層5bを300オングストロームの膜厚で成長させ、更に続いてシランガスのみを止め、同温度にてアンドープGaNからなる上層5cを50オングストロームの膜厚で成長させ、3層からなる総膜厚3350オングストロームの第1多層膜層5を成長させる。得られたLED素子は、実施例1とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られる。

【0068】[実施例9] 実施例8において、n側コントラクト層4の膜厚を、4.165μm、5.165μm、7.165μmとする他は同様にして3種のLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例1とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られ、また、膜厚が4.165μm及び5.165μmの場合は、発光出力などの素子特性を維持したまま静電耐圧がやや実施例1より良好となる。

【0069】[実施例10] 実施例1において、n側第2多層膜層6をアンドープGaNよりなる第2の窒化物半導体層と、Siを $5 \times 10^{17}/cm^3$ ドープしたI $n_{0.13}Ga_{0.87}N$ よりなる第1の窒化物半導体層とからなる多層膜とする他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例1とほぼ同等の特性を示す。

【0070】[実施例11] 実施例1において、p側多層膜クラッド層8を、Mgを $5 \times 10^{19}/cm^3$ ドープしたA $10.2Ga_{0.8}N$ よりなる第3の窒化物半導体層と、

アンドープのI $n_{0.03}Ga_{0.97}N$ よりなる第4の窒化物半導体層とからなる多層膜とする他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例1とほぼ同等の特性を示す。

【0071】[実施例12] 実施例1において、p側多層膜クラッド層8をアンドープのA $10.2Ga_{0.8}N$ よりなる第3の窒化物半導体層と、Mgを $5 \times 10^{19}/cm^3$ ドープしたI $n_{0.03}Ga_{0.97}N$ よりなる第4の窒化物半導体層とからなる多層膜とする他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例1とほぼ同等の特性を示す。

【0072】[実施例13] 実施例8において、n側第1多層膜層5が、アンドープGaNからなる3000オングストロームの膜厚の下層5aと、 $4.5 \times 10^{18}/cm^3$ ドープした300オングストロームの膜厚のA $10.1Ga_{0.9}N$ からなる中間層5bと、アンドープGaNからなる50オングストロームの膜厚の上層5cとを成長させてなる他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例8とほぼ同等の特性を示し、良好な結果が得られる。

【0073】[実施例14] 実施例8において、n側第1多層膜層5が、アンドープA $10.1Ga_{0.9}N$ からなる3000オングストロームの膜厚の下層5aと、 $4.5 \times 10^{18}/cm^3$ ドープした300オングストロームの膜厚のA $10.1Ga_{0.9}N$ からなる中間層5bと、アンドープA $10.1Ga_{0.9}N$ からなる50オングストロームの膜厚の上層5cとを成長させてなる他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例8とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られる。

【0074】[実施例15] 実施例8において、n側第1多層膜層5が、アンドープA $10.1Ga_{0.9}N$ からなる3000オングストロームの膜厚の下層5aと、 $4.5 \times 10^{18}/cm^3$ ドープした300オングストロームの膜厚のGaNからなる中間層5bと、アンドープGaNからなる50オングストロームの膜厚の上層5cとを成長させてなる他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例8とほぼ同等の特性を有し、良好な結果が得られる。

【0075】[実施例16] 実施例8において、n側コントラクト層4を、Siを $4.5 \times 10^{18}/cm^3$ ドープしたA $10.05Ga_{0.95}N$ の膜厚4.165μmとする他は同様にしてLED素子を作製する。得られたLED素子は、実施例8とほぼ同等の特性を示す。

【0076】[比較例1] 実施例1において、n側第1多層膜層5を構成するアンドープGaNからなる下層5aを形成しない他は同様にしてLED素子を作製した。得られたLED素子は、実施例1に比べ、静電耐圧が著しく低下し、リーク電流及びVfに関する特性も十分満足できる値ではなかった。

【0077】[比較例2] 実施例1において、n側第1

多層膜層5を構成するSiドープGaNからなる中間層5bを形成しない他は同様にしてLED素子を作製した。得られたLED素子は、実施例1に比べ、発光出力及び静電耐圧が大きく低下し、その他の特性も十分満足できる値ではなかった。

【0078】 [比較例3] 実施例1において、n側第1多層膜層5を構成するアンドープGaNからなる上層5cを形成しない他は同様にしてLED素子を作製した。得られたLED素子は、実施例1に比べ、リーク電流が増加し、その他の特性も十分満足できる値ではなかつた。

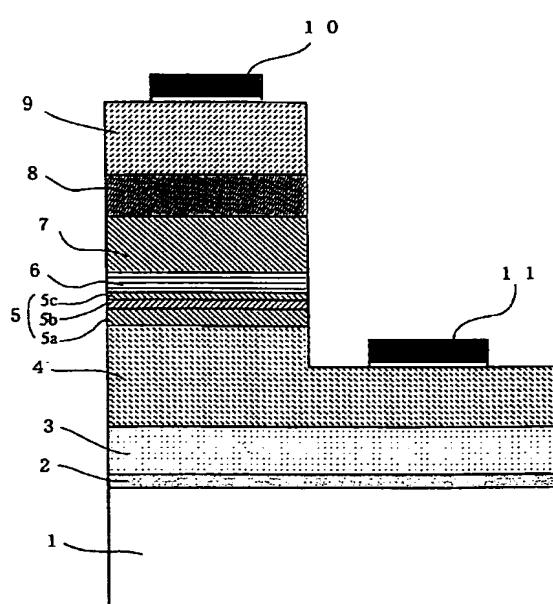
【0079】

【発明の効果】 本発明は、多重量子井戸構造の活性層を用い種々の応用製品への適用範囲の拡大を可能とするため、発光出力がより向上し、静電耐圧が良好な窒化物半導体発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

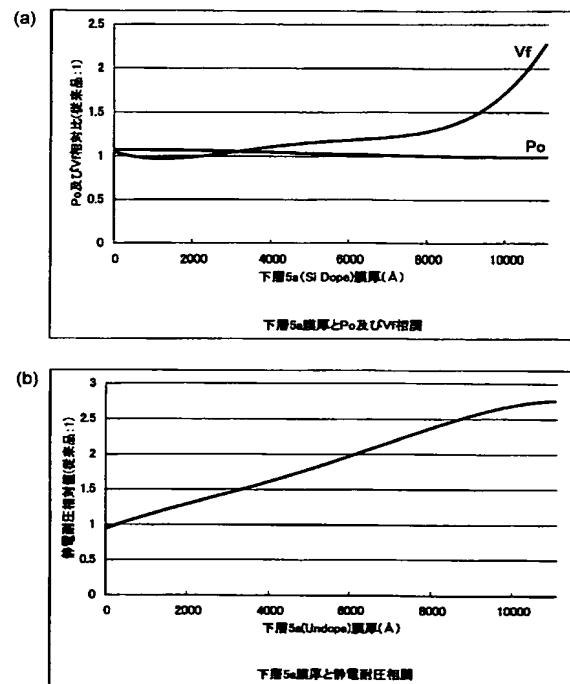
【図1】 図1は、本発明の一実施の形態であるLED素子の構造を示す模式断面図である。

【図2】 図2は、本発明のアンドープの下層5aの膜厚を変動させた場合の素子特性の変化を示したグラフである。

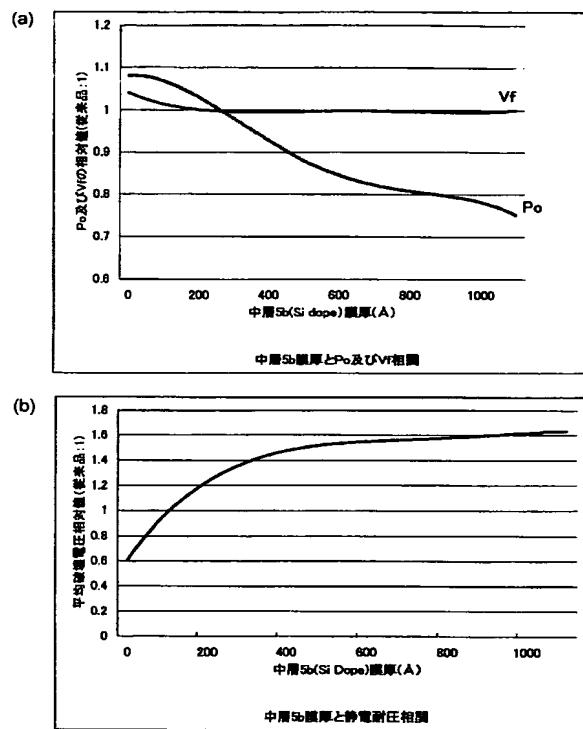


【図1】

【図2】



【図3】



【図4】

